

次世代ナノ電子デバイス創成の基本技術の確立と応用

研究代表者 工学部 女川 博義

(1) プロジェクトの背景

本プロジェクトでは、次世代電子デバイス実現を目指し将来実用化が期待される有機エレクトロニクスの量産技術へ結びつくデバイス作製の基礎技術の確立と応用を目的として研究開発を行っている。使用環境は、超微細素子作製観察装置部の運用により、50 nm オーダーの超微細線・パターンの作製、微細デバイス用フォトマスクの作製と観察に並行して、有機EL素子蒸着装置導入や科学技術振興機構・研究成果活用プラザ東海の育成研究「自己整合技術を用いた有機デバイスの集積化に関する開発研究」による反応性イオンエッチング装置、及び高機能有機薄膜形成装置、及び評価用真空プローバーの導入により、超微細素子作製観察装置室内での研究開発も本格化し、最終年度までに種々の要素技術が確立出来た。本報では、四年に渡り実施してきたプロジェクト研究で、得られた成果と展開について報告する。

(2) 研究成果

・液晶デバイス関連

新規液晶ディスプレイモードとラビングレス液晶配向を目指した電子ビーム露光装置を用いた微細パターン形成による液晶の水平、チルト及び垂直配向と、Nano Imprint Lithography (NIL)法による超微細パターン転写などを実施してきた。

新規表示方式では、第1に広視野角表示を狙い無秩序に形成されたホールを有する液晶表示方式を提案・検討し、国際会議報告、論文化及び特許化した。第2に、垂直配向応答を高速化できる極微細周期形状を形成する新規液晶表示方式について、国際会議報告、論文化及び共同研究機関より特許申請を実施した。第3に、透過部分は従来のIPS方式、反射部に電極を利用するインプレーン／対向複合電極を持つ半透過型液晶表示方式を提案・検討し、シミュレーションと実験の両面から初期特性を実証した。本結果を、共同研究機関から特許出願中で詳細を講演した。

液晶配向に関しては、超微細素子作製観察システムによるナノ超微細溝での液晶配向制御を検討し、国際会議報告、論文化を行った。図1に、50nm L/S パターンを、図2に、NILによるパターン転写後の 100 nm L/S のパターンを示す。100nmL/S で良好な電圧－透過率を実証しており、以上の様なパターン形成で、ラビングレス配向が実現できる。

以上、新液晶表示方式、配向制御に関する成果を論文8編、国際会議5件、依頼講演1件、大会発表14件、特許申請4件、特許2件（3723834号、3656103号）を行った。

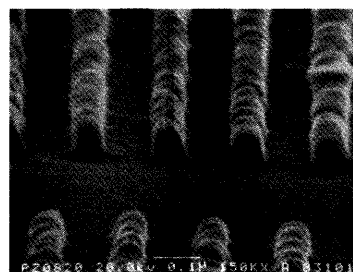


図1 SEM 観察像

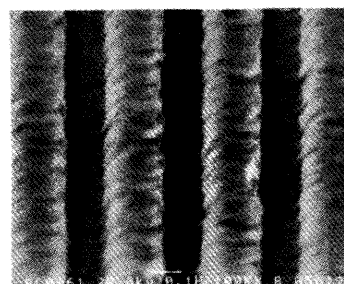


図2 NIL パターン像

・有機 EL 素子関連

第1に、図3に示す直接インクジェットプリント法を用いた自己整合的に隔壁形成可能な有機 EL 素子の作製について検討してきた。本法は、バンク形成及び位置合わせが不要で、歩留り及び開口率向上が期待できる。本検討では、ボトム型及びトップ型素子試作に成功し、最高輝度 $8,800 \text{ cd/m}^2$ や、30 mm 角パターン、解像度 300 ppi の発光（図4）を実現してきた。本結果は、依頼講演、Eurodisplay での国際会議報告、論文及び特許化などを通じ権利化中である。また、現在、本成果を製品化へ結びつけるべく、NEDO の地域コンソーシアムへ予算申請中である。第2に、新規かつ簡便な有機 EL 素子作製方法として、ペインティングツールによる簡単・大面積有機薄膜の形成法を提案・実現した。二種の発光材料の混合比を変えることで白色化も実現するとともに、実際の作製で必要となるパターンニング法も併せて提案した。本成果は、IDW 国際会議報告、JJAP での論文化及び共同研究機関による特許申請中である。第3に、我々が提案した新規有機 EL 素子作製法であるスプレー法による有機 EL 素子を実現し、輝度 $17,000 \text{ cd/m}^2$ ($@100 \text{ mA/cm}^2$)、電力効率 20.4 lm/W 、効率 50.4 cd/A を得るとともに、白色発光化に成功した。

第4に、低分子塗布系有機 EL 素子作製法について検討した。従来、溶液プロセスによる有機 EL 素子では高分子系材料が用いられてきたが、低分子系材料に置換えられるならば蒸着系デバイスと同等の素子性能、信頼性が得られる可能性が有る。これより、非晶質膜形成が容易であるトリフェニルアミン誘導体と、低分子りん光材を組合せた有機 EL 素子作製法を検討・最適化した。その結果、従来蒸着系と同等の素子性能・信頼性を得るに至り、本材料系について IJP、スプレー法へ適用するとともに、依頼講演、JJAP での論文化、IDW04、05 国際会議での報告、及び特許申請を実施してきた。

第5に、りん光材料高効率有機 EL 素子の課題である低電圧化に対し、発光層にホール輸送材料を混合したりん光有機 EL 素子を作製し、2 V 程度の駆動電圧低減、高電流密度領域の発光効率向上を確認した。本結果は、IDW 国際会議発表、論文化、講演会報告、及び科学技術振興事業団受託研究データ補完プログラムの一環として、成果を特許申請中である。

第6に、二つの透明電極間に存在する有機積層の中間部に共通の走査電極を有する“デュアルドライブ&エミッション(DDE)パネル”について検討した(図5)。両面に発光表示できる有機 EL パネルとしては透明 EL 素子が注目されているが、画像反転の問題がある。本研究では、それを解決するため、図5の積層構造化を実施した。AlNd 陰極、 MoO_3 正孔注入バッファ、IZO の採用で対称な構造・特性が実現でき、両面に独立な画像表示可能な有機 EL パネルが実現できた。図6に試作したパネルの発光例を示す。本結果について、IDW04、IDRC04 等の国際会議で発表及び展示紹介するとともに、科学技術振興機構と共同で特許出願中である。

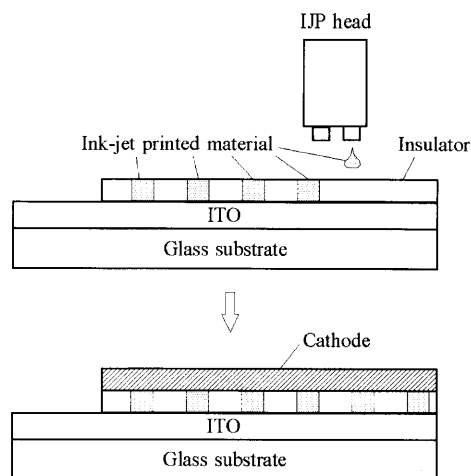


図3 自己整合有機 EL 素子

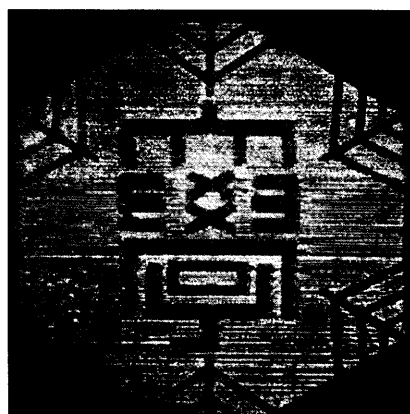


図4 300ppi 発光パターン

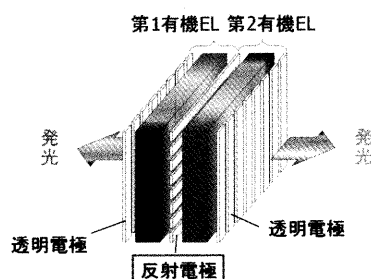


図5 DDE パネル

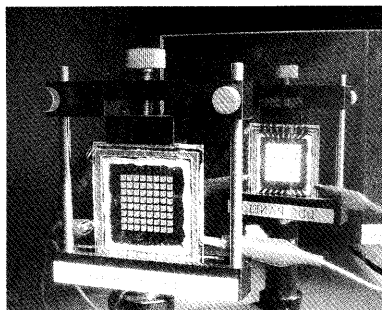


図6 発光写真

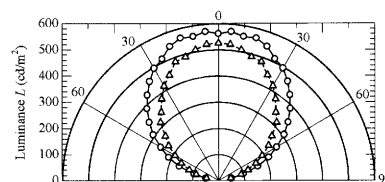


図7 ランダムドット素子

第7に、有機EL素子の取出し効率改善を目指し、出射部にランダム突起構造を形成した有機EL素子を検討した(図7)。その結果、正面からの光取出し効率が最高30%向上することを確認し、方位角方向での輝度も大幅に向上出来た。本結果は、EM-NANO04 国際会議、JJAPでの論文化及び関連特許を共同研究機関より2件出願中である。

以上、上記を含め有機EL素子に関する成果を、依頼講演15件、論文19件、国際会議発表13件、大会発表26件、特許申請6件、特許(第3757272号、特許3723845号)を行った。

・有機トランジスタ・デバイス関連

第1に有機材料を半導体層に持つ有機トランジスタの研究を進めてきた。特に性能向上を目指し、寄生素子効果が低減出来る自己整合技術の提案を行いし、動作を確認・諸性能を評価した。その結果、チャネル長 $6\mu\text{m}$ のトランジスタで、ゲートドレイン、ソース間のオーバーラップ部の幅 $0.8\mu\text{m}$ 、線形領域より評価した電界効果移動度 $0.12\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、しきい電圧 -1V を得た。また、得られたゲート容量 1.55pF 、相互コンダクタンス $1.8\mu\text{S}$ より求めたしや断周波数 0.18MHz を得た。以上の成果を、SSDM03国際会議で報告し、論文化及び共同研究機関と特許申請中である。

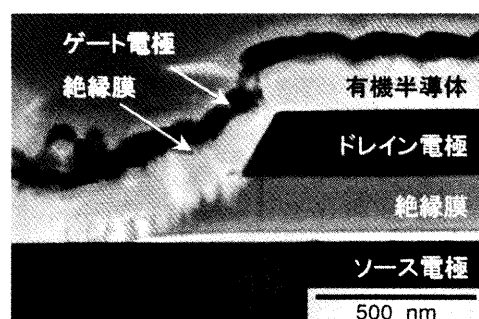


図8 縦形トランジスタ断面

第2に、有機トランジスタの高駆動能力実現には、リソグラフィの制約無しに短チャネル化が可能な縦形構造が望ましい点に着目し、垂直RIE加工を用いた集積化可能な有機縦形トランジスタを試作した。 $0.5\mu\text{m}$ チャネルのトランジスタ動作が確認され、電界効果移動度 $0.025\text{cm}^2/\text{Vs}$ と見積られた。また、科学技術振興機構と共同で特許出願中である。

第3に、有機トランジスタとの一体化を考え、光をガラス上部より吸収するトップアブソープション(TA)型素子について検討した。その結果、通常ボトムアブソープション型素子と同等性能を実現するとともに、SSDM国際会議での講演、論文化、及び科学技術振興機構と共同で特許出願中である。

第4に、有機EL素子と有機フォトダイオード(PD)アレイを積層することに

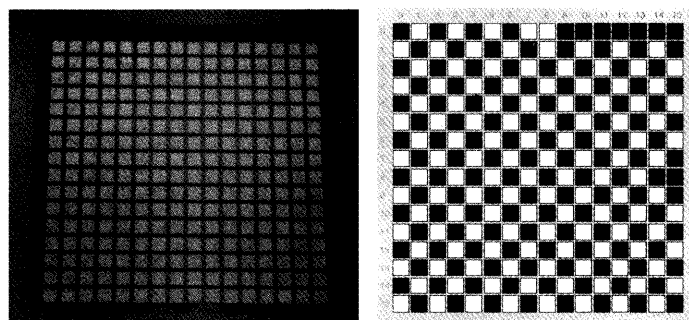


図9 16×16 パネル発光-受光動作

よる複合機能デバイス集積化を実現した。さらに、特殊な有機材料の探索で、単一の有機 EL 素子構造で発光及び受光が出来ることを明らかとした。16×16マトリクス駆動の結果を図9に示す。本結果は、SSDM04、05 国際会議講演、論文化及び科学技術振興機構と共同特許出願中である。

第5に、有機電界効果トランジスタの集積化を狙い、エキシマレーザによる直接マスクパターンニング技術について検討した。その結果、従来法では一桁以上特性劣化するところを80%強の電流減少に留まるパターンニング技術の開発に成功し、容易にミクロンオーダーのパターンニングが出来た。本結果を、平成16年応物、信学会で報告し、論文化及び特許申請中である。

第6に、大面積にナノオーダーの超微細配線を形成する一手法として、従来リソグラフィによらない干渉露光法で疎水性ポリイミドをパターンニングし、銀ナノ粒子をスピコート成膜する手法を編み出した。配線部の抵抗は25 kΩ、隣接配線間では抵抗が10³倍(+2 V)となりワイヤの分離が確認出来た。以上の結果を、平成16年秋季応物で講演し、共同研究企業と特許申請中である。

第7に、サブミクロンと薄い有機薄膜、ライン状光スリット、及びラテラル電極による有機薄膜の移動度評価法について検討した。その結果、従来評価出来ていなかったりん光材料イリジウム錯体 Ir(ppy)₃の移動度を初めて測定し、10⁻³ cm²/Vs 台であることを明らかとした。本成果は、平成16年秋季応物で講演した。また、講演後企業側二社からの引合いがあり、現在うち一社と特許申請中である。

以上、有機トランジスタ・デバイスに関する成果について、依頼講演6件、論文9編、国際会議発表4件、大会発表25件、特許申請9件を行った。

(3)プロジェクト成果

本プロジェクト研究に関連して、特許化4件、特許出願20件を行うとともに、論文36編、著書執筆4編（印刷中含）、国際会議発表22件、依頼講演22件、雑誌執筆2件、展示会出展4件、大会発表63件、新聞発表2件で広く公開し、権利化と広報活動に努めてきた。

(4)プロジェクト成果の応用・効果・構想

本プロジェクトの成果で、従来有機電子デバイスの高性能化が図れるとともに、独自の複合化技術を導入することで多機能有機電子デバイスの実現が期待され、情報通信界の主要部材としての利活用が期待される。

本プロジェクト関連の申請特許を基に特許の権利行使の有効活用が可能であり、起業化へ向けて中部地区15社による新エネルギー・産業技術総合開発公募の予算申請等を実施中で、得られた成果による初期的製品の実現へ向け検討中であり、本プロジェクト展開の延長上での起業化を目指してゆく。

(5)利用施設

・超微細素子作製観察装置室

微細パターン形成、フォトリソグラフィ、デバイス評価等に使用。

・超微細素子作製観察システム

・配線パターン形成装置

・デバイス評価装置

・極低温測定装置